

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-171500

(P2000-171500A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000.6.23)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

G 0 1 R 27/02

G 0 1 R 27/02

R 2 G 0 1 4

31/02

31/02

2 G 0 2 8

H 0 5 K 3/00

H 0 5 K 3/00

T

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-346350

(22) 出願日 平成10年12月7日 (1998.12.7)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 石川 ▲高▼吉

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

Fターム (参考) 2G014 AA14 AB59 AC09

2G028 AA01 AA03 AA04 CG02 CG08

CG18 DH11 EJ01 FK09 HM06

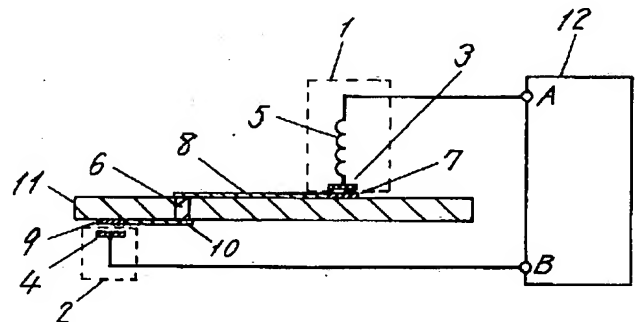
HN09 HN14 MS05

(54) 【発明の名称】 プリント配線板の抵抗測定装置およびそれを用いた抵抗測定方法

(57) 【要約】

【課題】 プリント配線板の電気検査において、パターンランドに傷を付けずにプローブピンとパターンランドの接触抵抗の影響を受けることなく高精度で測定することを目的とする。

【解決手段】 抵抗測定装置は、測定用センサ電極3, 4を被測定基板11のパターンランド7, 9に近接させて計測器によりインピーダンスと位相測定を測定する構成にしたものである。これにより、インピーダンスと位相測定を測定し、インピーダンスと位相測定結果から計算により被測定基板11のパターンランド7, 9間の抵抗値を測定する事が出来る。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 インピーダンス・位相測定器の測定用端子の両側に測定用プローブを設け、前記測定用プローブのどちらか一方は、測定用センサ電極とインダクタンス素子が直列に接続されており、他方の測定用プローブには測定用センサ電極が設けられたことを特徴とするプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 2】 前記インダクタンス素子の代わりに LC タンク回路を接続したことを特徴とする請求項 1 記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 3】 前記インピーダンス・位相測定器内に掃引共振回路を内蔵した請求項 1 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 4】 前記インピーダンス・位相測定器の測定周波数を掃引する機能と、共振点を検出する機能と、その共振周波数でインピーダンスを測定する機能を有する請求項 1 記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 5】 前記センサ電極の先端に高誘電率の絶縁体を取り付けたことを特徴とする請求項 1 記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 6】 絶縁体の面積はセンサ電極の面積と同等以上である請求項 5 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 7】 前記測定用センサ電極を導通孔を有する回路基板で形成した請求項 1 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 8】 被測定基板の複数の測定用パターンランドの各々に対応するセンサ電極パターンを有する請求項 6 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 9】 センサ電極パターンが導通孔を介してインダクタンス素子に接続されている請求項 8 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 10】 インダクタンス素子とインピーダンス・位相測定器の測定用端子の間にプログラムスイッチを介した請求項 9 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 11】 回路基板が多層基板である請求項 7 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 12】 回路基板は被測定基板と同じ製造方法で形成されたものであることを特徴とする請求項 7 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置。

【請求項 13】 導通孔を有するプリント配線板において、前記導通孔を介した少なくとも 2 以上の測定用パターンランドに請求項 1 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置の測定用プローブを接触させることによるプリント配線板の抵抗測定方法。

【請求項 14】 請求項 1 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置の測定用端子と測定用プローブ間の等価抵抗と、インダクタンス素子の抵抗を予め測定する請求項 13 に記載のプリント配線板の抵抗測定方法。

【請求項 15】 インダクタンス素子の容量と測定用センサ電極とパターンランド間の容量を共振させる請求項 13 に記載のプリント配線板の抵抗測定方法。

【請求項 16】 請求項 4 記載のプリント配線板の抵抗測定装置において、測定周波数を回路全体の共振周波数の近傍でかつ低い周波数側に設定する請求項 13 に記載のプリント配線板の抵抗測定方法。

【請求項 17】 請求項 5 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置において、絶縁体を測定用パターンランドに接触させる請求項 13 に記載のプリント配線板の抵抗測定方法。

【請求項 18】 請求項 10 に記載のプリント配線板の抵抗測定装置のプログラムスイッチを順次切り替えることによる請求項 13 に記載のプリント配線板の抵抗測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は各種電子機器などに用いられるプリント配線板の抵抗測定装置およびそれを用いた抵抗測定方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 近年、各種電子機器などに用いられるプリント配線板（以後単に基板と呼ぶ）は、電子機器の小型化や多機能化に伴い、基板の多層化や電子部品が実装されるパターンランドの狭ピッチ細線化などファイン化が進み、基板の電気検査が追従できなくなっている。さらには多層基板の各層パターンの接続はスルホールからビアホールへと変化し、ビアホールの品質を保証するためにはビアホールの抵抗値測定が重要な課題となっている。

【0003】 以下に従来の基板の電気検査方法について図面を用いて説明する。図 10 は従来の基板の電気検査概略構成図であるが、図 10 に示すように、ピンボード 33、34 にスプリング 37、38 付きのプローブピン 35、36 を取り付け、ピンボード 33、34 を被測定基板 10 の上下からパターン面に押し当て、抵抗測定器 39 により断線、及び抵抗を測定していた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 基板の電気検査においては、配線が接続されているか、と共に、ビアホールの精度の良い抵抗値測定、パターンランドに傷をつけないことが要求されているが、従来の基板試験装置ではパターンランドとプローブピン間の接触抵抗により、精度の高い抵抗測定ができず、パターンランドにもプローブピンの押し痕が残っていた。

【0005】 またパターンランドがファイン化されピンプローブも極細化されているものの 100 μm 以下のピンプローブは実用化されておらずパターンのファイン化に追従できていない。

【0006】 本発明はこのような基板の電気検査におい

て、パターンランドに傷を付けずに基板の抵抗値を接触抵抗の影響なく高精度で測定することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この課題を解決するために本発明は、インピーダンス・位相測定器（以下単に測定器と呼ぶ）の測定用端子の両側に測定用プローブを設け、前記測定用プローブのどちらか一方は、測定用センサ電極とインダクタンス素子が直列に接続されており、他方の測定用プローブには測定用センサ電極を設け、前記測定用センサ電極を被測定基板のパターンランドに近傍させて計測器によりインピーダンスと位相測定を測定する構成にしたものである。これにより、インピーダンスと位相測定を測定し、インピーダンスと位相測定結果から計算により被測定基板のパターンランド間の抵抗値を測定する事が出来る。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の請求項1に記載の発明は、測定器の測定用端子の両側に測定用プローブを設け、前記測定用プローブのどちらか一方は、測定用センサ電極とインダクタンス素子が直列に接続されており、他方の測定用プローブには測定用センサ電極が設けられたことを特徴とする基板抵抗測定装置としたものであり、これによりパターンランドに接触傷を付けることなく、基板の抵抗を測定することができるという作用を有する。

【0009】請求項2に記載の発明は、前記インダクタンス素子の代わりにLCタンク回路を接続したことを特徴としたものであり、インダクタンスの値を小さくしてもLCタンク回路の共振周波数近傍で誘導性インピーダンスが非常に大きくなることを利用して、測定周波数を低くして測定精度を向上させるという作用を有する。

【0010】請求項3に記載の発明は、前記インピーダンス・位相測定器内に掃引共振回路を内蔵したことにより、測定周波数を掃引させ、共振点を検出し、その共振周波数でインピーダンスを測定することが可能であるというものである。

【0011】請求項4に記載の発明は、前記測定器の測定周波数を掃引させ、共振点を検出し、その共振周波数でインピーダンスを測定することが可能な測定装置を提供するものである。

【0012】請求項5に記載の発明は、前記センサ電極の先端に高誘電率の絶縁体を取り付けたことを特徴としたものであり、センサ電極とパターンランド間の容量を大きくして共振周波数を低くし測定周波数を低くして測定精度を向上させるという作用を有するものである。

【0013】また、絶縁体の面をパターンランドに当てる事により、センサ電極とパターンランドの距離が安定し、その間の容量を安定させる作用も有するものである。

【0014】請求項6に記載の発明は、センサ電極とパ

ターンランド間の容量を最大にして共振周波数を低くし測定周波数を低くして測定精度を向上させるという作用を有するものである。

【0015】請求項7に記載の発明は、前記測定用センサ電極を導通孔を有する回路基板で形成することにより、ファイン化に追従できるセンサ電極を容易に製作することができるものである。

【0016】請求項8に記載の発明は、センサ電極の面積は被測定基板のパターンランド面積と同程度あればよく、複数の測定用パターンランドを有する被測定基板のファイン化に追従できるセンサ電極を容易に製作することができるものである。

【0017】請求項9に記載の発明は、センサ電極パターンが形成された面の反対面に導通孔を介してセンサ電極パターンに接続するパターンを形成し、そのパターンがインダクタンス素子に接続されていることにより、センサ電極パターンを高密度に形成することができるという作用を有する。

【0018】請求項10に記載の発明は、複数の測定用パターンランドを有する被測定基板を測定に際し、それに対応する複数の電極センサパターンを接触させ、プログラムスイッチを切り替えることにより、各測定用パターンランドの抵抗測定を容易に行うことができる装置を提供するものである。

【0019】請求項11に記載の発明は、センサ電極を多層回路板で形成することにより、高密度の被測定基板に容易に対応できるという作用を有する。

【0020】請求項12に記載の発明は、センサ電極の回路基板を被測定基板と同じ製造方法で形成することにより被測定基板の製造技術が向上し、更にパターンがファイン化されても被測定基板と同様の製造方法で作成できるので常にファイン化に追従できるものである。

【0021】請求項13に記載の発明は、パターンランドに接触傷を付けることなく、基板の抵抗を測定することができ、さらに導通孔を介する被測定基板の抵抗を精度良く測定することができるという作用を有する。

【0022】請求項14に記載の発明は、測定用端子と測定用プローブ間の等価抵抗と、インダクタンス素子の抵抗を予め測定することにより、所望するパターンランド間の抵抗を効率よく測定することができるという作用を有する。

【0023】請求項15に記載の発明は、測定器の測定周波数を掃引させ、共振点を検出し、その共振周波数でインピーダンスを測定することを特徴としたものであり、共振周波数では位相角 θ が 0° 、即ちインピーダンスの虚数部が 0Ω となり測定インピーダンスは実数部のみであり、位相角 θ の測定誤差が無くなるため精度の良い抵抗値の測定ができるという作用を有するものである。

【0024】請求項16に記載の発明は、測定周波数を

回路全体の共振周波数の近傍でかつ低い周波数側に設定することにより、測定インピーダンス、及び位相角を小さくすることができ、低抵抗を精度良く測定できるという作用を有する。

【0025】請求項17に記載の発明は、パターンランドに傷が付きにくく、かつ絶縁体の厚さの分距離を安定して保つことができるため、測定誤差が少なく精度の良い抵抗測定ができるという作用を有する。

【0026】請求項18に記載の発明は、複数の測定用パターンランドを有する被測定基板の測定に際し、それに対応する複数の電極センサパターンを接触させ、プログラムスイッチを切り替えることにより、各測定用パターンランドの抵抗測定を容易に行うことができるという作用を有する。

【0027】以下、本発明の実施の形態について、図1から図9を用いて説明する。

(実施の形態1) 図1は本発明の一実施の形態における基板の電気検査方法を示す構成図である。

【0028】図1において1及び2は測定用プローブ、3及び4はセンサ電極部、5はインダクタンス素子、6は基板の上面パターンと下面パターンを接続するビアホール、7は基板上面のパターンランド部、8は基板上面のパターンランド部7とビアホール6を接続するパターン、9は基板下面のパターンランド部、10は基板下面のパターンランド部9とビアホール6を接続するパターン、12は測定器であり、上面パターンランド7の上面に数十 μm ～数百 μm 程度近接させ、センサ電極3を配置してある。センサ3からはインダクタンス5を電気的*

$$Z_c = -j(1/\omega C)$$

(但し、 $\omega = 2\pi f$ 、 f は周波数、 $C = C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2)$)

【0034】となり、測定端子A、Bから見た総合インピーダンスZは、

【0035】

【数4】

$$Z = Z_r + Z_L + Z_c = R + j(\omega L_1 - 1/\omega C)$$

【0036】となる。そして虚数部の合計が Z_L である。上記(数4)の虚数部誘導成分 Z_L 、虚数部容量成分 Z_c をインピーダンス-周波数特性図に表すと図3のようになる。

【0037】図4は図3の共振周波数 f_0 近傍で任意の測定周波数 f_1 におけるインピーダンスベクトル図である。

【0038】図4からわかるように測定器12で総合インピーダンスZ、および位相角 θ を測定すれば、

【0039】

【数5】

$$R = Z \times \cos \theta$$

【0040】より、抵抗値Rが求まる。また、センサ電極3から測定端子Aまでの等価抵抗 r_1 、インダクタン

*に介して、測定器12の測定端子Aに接続されている。

また、上面パターン7、ビアホール6および下面パターン10を経由して電氣的に接続された下面パターンランド9の面からも数十 μm ～数百 μm 程度近接させたセンサ電極4が配置され、そのセンサ電極4は測定器12の測定端子Bに直接電氣的に接続している。

【0029】図2(a)は測定器12の測定端子A、Bから見た図1の等価回路であり、13はインダクタンス5の抵抗を除くセンサ電極3から測定端子Aまでの等価抵抗、14はインダクタンス5の抵抗分、15はインダクタンス、16はセンサ電極3と上面パターンランド7の間の容量、17は上面パターンランド7から下面パターンランド9までの抵抗、18は下面センサ電極4とパターンランド9間の容量、19は下面センサ電極4から測定器12の測定端子Bまでの抵抗である。

【0030】図2(b)は図2(a)の総合インピーダンスZを実数部 Z_r 、虚数部誘導成分 Z_L 、虚数部容量成分 Z_c で表したものでありその値は、

【0031】

【数1】

$$Z_r = R$$

(但し、 $R = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$)

【0032】

【数2】

$$Z_L = i\omega L_1$$

【0033】

【数3】

※素子5の抵抗 r_2 、センサ電極4から測定端子Bまでの等価抵抗 r_4 を予め測定しておけば、(数1)より、上面パターンランド7から下面パターンランド9間の抵抗 r_3 を求めることができる。

【0041】インダクタンス5が無い場合でも抵抗値Rは計算にて求まるが、一般的に、測定すべき上面パターンランド7から下面パターンランド9間の抵抗 r_3 の抵抗値は10m Ω 前後、インダクタンス5の抵抗も含めセンサ電極3から測定端子Aまでの等価抵抗と下面センサ電極4から測定器12の測定端子Bまでの抵抗の合計は数百m Ω 、センサ電極3、4とパターンランド7、9間の容量は1pF程度であり、今インダクタンス5が無い場合(数4)は、

【0042】

【数6】

$$Z = Z_r + Z_c = R - j(1/\omega C)$$

【0043】となり、ここで仮に測定周波数を100MHzとするとインピーダンスZの値は約1600 Ω 、位相角 θ は90°近くになり位相角 θ の測定誤差が1°あ

ればインピーダンスZの実数部Rは約28Ωの誤差となり、被測定抵抗値より誤差が数十倍となり10mΩ程度の抵抗を測定することは不可能である。

【0044】本発明のように、インダクタンス5を追加することにより、このインダクタンス5とセンサ電極3、4とパターンランド7、9間の容量C₁およびC₂と共振させると、共振周波数の近傍ではインピーダンスZが非常に小さくなり、インピーダンスZの虚数部Z_iと実数部Z_rの比が小さくなって位相角θを小さくすることができる。

【0045】例えば、インピーダンスZが200mΩ、位相角θが60°であれば(数7)より、インピーダンスZの実数部Rは100mΩとなる。

【0046】ここで、位相角θの測定誤差が1°発生し*

$$Z_{LCR} = \frac{-j(r_2 + j\omega L_1) \cdot (1/\omega C_3)}{(r_2 + j\omega L_1) - j(1/\omega C_3)}$$

$$= \frac{1/(\omega^2 C_3^2)}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}} + j \frac{1/(\omega C_3) (L_1/C_3 - r_2^2) - \omega L_1^2/C_3}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}}$$

【0050】となり、総合インピーダンスZ₁の実数部Z_{r1}、タンク回路の虚数部Z_{ic}、虚数部容量成分Z_cはそれぞれ、

【0051】

【数8】

$$Z_{r1} = \frac{1/(\omega^2 C_3^2)}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}} + r_1 + r_3 + r_4$$

【0052】

【数9】

$$Z_{i1} = \frac{1/(\omega^2 C_3^2)}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}} + r_1 + r_3 + r_4$$

$$+ j \left\{ \frac{1/(\omega C_3) (L_1/C_3 - r_2^2) - \omega L_1^2/C_3}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}} - C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2) \right\}$$

(但し、C₃:タンク回路25の共振容量、L₁:タンク回路25の共振インダクタンス
r₂:共振インダクタンス23の抵抗)

【0056】となる。図7は図6(b)のインピーダンスの虚数部をタンク回路25の虚数部Z_{ic}、その他の虚数部容量成分Z_c即ち、センサ電極3、4とパターンランド7、9間の容量C₁、C₂の合計インピーダンスとに分けたインピーダンス-周波数特性図である。

【0057】図7からわかるように、タンク回路25の共振周波数の近傍ではタンク回路25のインピーダンスの虚数部が非常に大きくなり、共振周波数の低い側ではインピーダンスが誘導性となる。したがって図6(a)の等価回路全体の共振周波数はタンク回路25の共振周

*でも実数部Rの計算誤差は±3mΩ(±3%)程度となり、十分実用化が可能である。

【0047】(実施の形態2)図5は図1のインダクタンス5の代わりに、インダクタンス23と容量24を並列結合したタンク回路25を挿入したものである。図6

(a)は図5の等価回路であり、図6(b)は図6

(a)の総合インピーダンスZ₁を実数部Z_{r1}、タンク回路の虚数部Z_{ic}、虚数部容量成分Z_cで表したものである。

10 【0048】このタンク回路25のインピーダンスZ_{LCR}は

【0049】

【数7】

$$Z_{LC} = +j \frac{1/(\omega C_3) (L_1/C_3 - r_2^2) - \omega L_1^2/C_3}{r_2^2 + \{(\omega L_1 - 1/(\omega C_3))^2\}}$$

※【0053】

【数10】

$$Z_C = -j\{C_1 \times C_2 / (C_1 + C_2)\}$$

【0054】図6の合計インピーダンスZ₁は、

【0055】

【数11】

波数より低い周波数となる。

【0058】ここで、測定周波数を回路全体の共振周波数の近傍でかつ低い周波数側にすれば、測定インピーダンス、及び位相角が小さくなり数十mΩ程度の低抵抗が精度良く測定できる。タンク回路25の共振周波数を低くすることは比較的容易であり、回路全体の共振周波数を低くすることができ、測定周波数を低くして測定系に近接する他の電気部品、構造部品からの影響を少なくすることができる。

50 【0059】(実施の形態3)図1の測定回路の構成に

において、計測器12の測定周波数を掃引させ、測定回路の位相角 θ が 0° 、またはインピーダンス Z の虚数部 Z_i が 0Ω 、またはインピーダンス Z の値が最小値の点を探すなどの方法により測定回路の共振周波数 f_0 を求め共振周波数 f_0 でインピーダンス Z を測定すれば、インピーダンス Z の虚数部 Z_i は 0Ω となり、(数6)は

【0060】

【数12】

$$Z = R$$

【0061】となり、位相角 θ の測定誤差の影響がなくなり、精度の良い抵抗測定ができる。

(実施の形態4) 図8はセンサ電極3とパターンランド7近辺の部分図であるが、センサ電極3の先端には、センサ電極3と同程度以上の面積を持つ高誘電率の誘電体29が取り付けられ、測定時には、誘電体29のセンサ電極3と反対側の面を、パターンランド7の面に押し当てている。

【0062】センサ電極3とパターンランド7間容量 C_i の値は、センサ電極3とパターンランド7の対向面積を S [m^2]、距離を T [m]とすると、

【0063】

【数13】

$$C_i = \epsilon_0 \cdot \epsilon_s \cdot S / T \quad [F]$$

【0064】但し、 ϵ_0 : 真空誘電率 ϵ_s : 誘電体29の非誘電率

となり、誘電体29の非誘電率に比例してセンサ電極3とパターンランド7間の容量 C_i が大きくなり、被測定回路の共振周波数を低くする事ができ、測定周波数が低くなって、測定系に近接する他の電気部品、構造部品からの影響を少なくすることができる。

【0065】また、パターンランド7には、絶縁体29の面で当たるため、傷がつきにくく、かつセンサ電極3とパターンランド7間の距離が安定して保たれるため、測定誤差が少なく精度の良い測定ができる。

【0066】(実施の形態5) 図9は複数のセンサ電極部30を両面基板31で作成した一例の斜視図であるが、片面に被測定基板と同様の製造方法でセンサ電極部3.0を作成しスルホールあるいはビアホール3.2で他の面へ引き出され、そこからインダクタンス5に接続されている。そこから、プログラムスイッチにより順次切り替えて、測定器に接続されることは言うまでもない。 *

* 【0067】センサ電極を両面基板または多層基板を被測定基板同様の製造法で作成することにより、被測定基板のパターンが今後更にファイン化されても、センサ電極部も常にファイン化に追従できる。

【0068】

【発明の効果】以上のように、本発明は回路基板のパターンに傷を付けることなく、また接触抵抗の影響がないため精度良く回路基板のビアホールを含めた回路の抵抗が測定できる。またセンサ電極は、被測定回路基板と同様の製造法で作ればよく、今後更に回路基板のパターンがファイン化されても、常にファイン化に追従できるという効果を有するものである。

【0069】尚、本発明は回路基板のビアホールを含めた回路の抵抗測定に限定するものではなく、チップ抵抗など電極面を持つ抵抗の測定などにも応用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態の構成図

【図2】図1の等価回路図

20 【図3】図2の等価回路のインピーダンス虚数部一周波数特性図

【図4】測定周波数におけるインピーダンスベクトル図

【図5】本発明の他の実施の形態を示す構成図

【図6】図5の等価回路図

【図7】図6の等価回路のインピーダンス虚数部一周波数特性図

【図8】本発明の他の実施の形態を示す構成図

【図9】本発明の他の実施の形態を示す構成図

【図10】従来の構成図

30 【符号の説明】

1, 2 測定用プローブ

3, 4 センサ電極

5, 23 インダクタンス

6 ビアホール

7, 9 パターンランド

8, 10 パターン

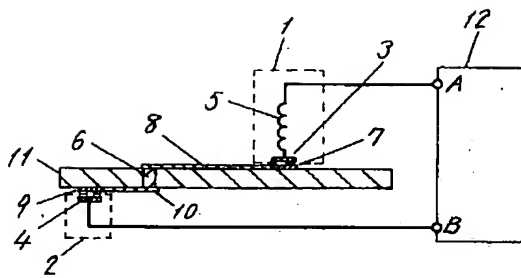
11 被測プリント配線基板

12 測定器

13, 14, 17, 19 抵抗

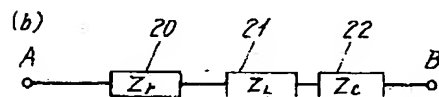
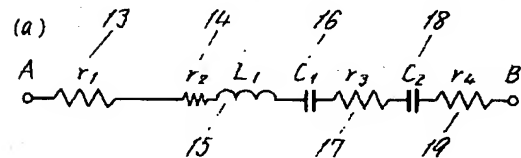
16, 18, 26 容量

【図1】

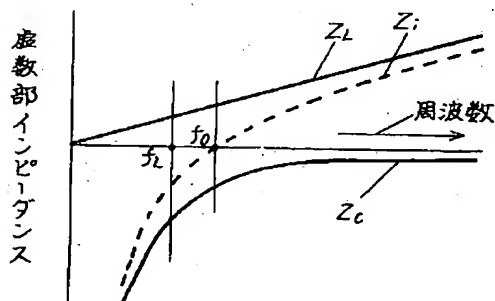


【図2】

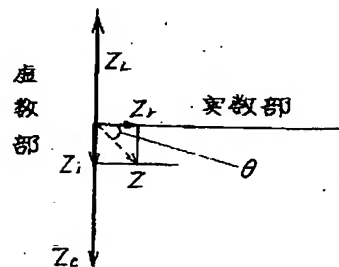
13,14,17,19 抵抗 20 実数部
15 インダクタンス 21 虚数部誘導成分
16,18 容量 22 虚数部容量成分



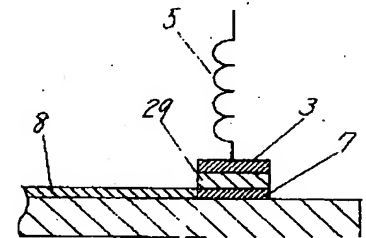
【図3】



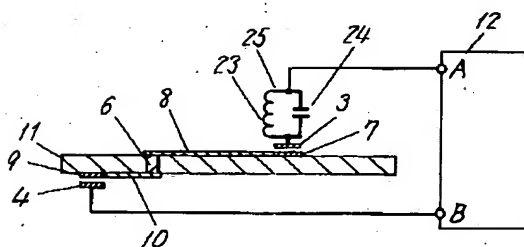
【図4】



【図8】

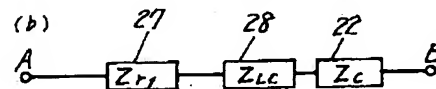
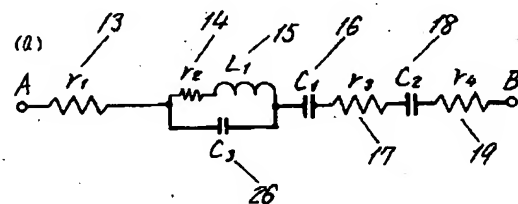


【図5】

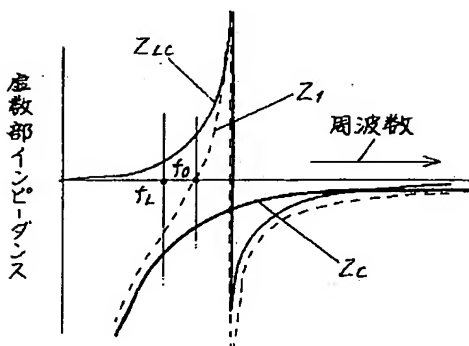


【図6】

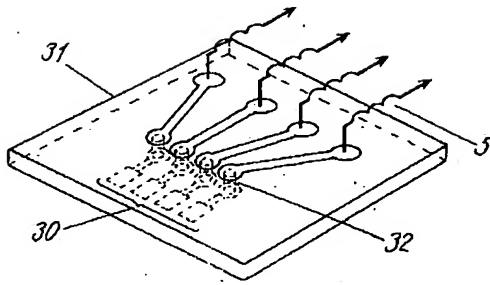
13,14,17,19 抵抗 22 虚数部容量成分
15 インダクタンス 27 実数部
16,18,26 容量 28 タンク回路虚数部



【図7】



【図 9】



【図 10】

